

1993年ペルセウス座流星群の電波エコー観測

船田 智史¹、前田 耕一郎²

1) 大阪市立大学理学部

2) 兵庫医科大学

Radio-Echo Observations of the Perseid Meteor Shower in 1993

Satoshi FUNADA¹, Koitiro MAEDA²

1) *Osaka City University, Sumiyoshi-ku, Osaka 558, Japan*

2) *Hyogo College of Medicine, Nishinomiya, Hyogo 663, Japan*

E-mail: funada@miho.rcnp.osaka-u.ac.jp

E-mail: maeda@hyogomc.kugi.kyoto-u.ac.jp

(Received 1994 July 14; in the revised form September 13)

概要

1993年のペルセウス座流星群の出現の際、西はりま天文台において流星からの電波エコーの観測を試みた。観測には、約480 km離れたところから送信されているFM東京の電波(80.0 MHz)、及び約160 km離れた滋賀県信楽町にあるMUレーダーからの電波(46.5 MHz)を利用した。8月12日から13日の約1日間について各1時間毎の流星エコーの個数を計測したところ、46.5 MHzと80.0 MHzのエコー個数は良く似た時間変化を示した。信楽では、各エコーについて強度及び反射高度の計測が行われた。西はりま天文台のデータと信楽のデータを比較したところ、西はりま天文台で受信されたエコー個数変化は信楽で受信されたエコーのうち高度が高いもの(>95 km)及び強度の高いもの(>25 dB)の個数変化と相関が良いことがわかった。

Abstract

Radio echo observations of a Perseid meteor shower in 1993 were made at Nishi-Harima Astronomical Observatory (NHAO) during the period August 12-13, 1993. For the radio echo observations we used radio waves from FM Tokyo (80.0 MHz), and those from the MU (Middle and Upper atmosphere) radar (46.5 MHz) from Shigaraki. The distance from NHAO to the station of FM Tokyo and the MU radar site (Shigaraki) are about 480 and 160 km, respectively. The time variation of the hourly echo rate at 46.5 MHz was similar to that at 80.025 MHz. At Shigaraki the reflection height and the echo intensity were measured for each echo. Comparing the 46.5 MHz hourly echo rate at NHAO with that at Shigaraki, we found that the echo rate of NHAO is correlated with that of the Shigaraki with a large reflection height(> 95km) and with a strong intensity (> 25dB).

Key words: Solar System - Meteor shower: individual(Perseid) - FM echo observation - Radio observation

1. はじめに

小さな塵が宇宙空間から地球大気に突入すると、摩擦熱により経路にある気体を電離する。電離された気体が再結合する際に発する光を我々は流星として観測している。流星の経路に沿ってできるプラズマ柱は数10MHz程度の周波数の電波を反射する。このことを利用すれば、電波による流星のレーダー観測が行える。

例えば、京都大学超高層電波研究センターの大気観測用のMU (Middle and Upper atmosphere) レーダー (Fukao, et al. 1985a, 1985b) を利用して、流星のレーダー観測が実施されている (Watanabe, et al. 1991)。また、FM放送の電波を利用した流星観測も行われている。レーダー観測の場合には送信と受信が同じ場所で行われるので、流星により後方に散乱された電波を受信することになる。一方、FM放送電波を利用する場合には、流星により前方に散乱される電波を放送局から200-300km離れた地点で受信している (齊藤、長沢、1983)。西はりま天文台では、短波及び超短波帯において、すでに木星デカメーター波及び太陽電波バーストの観測が行われている (前田、1993)。この観測に用いられている機器は、そのまま流星のレーダー観測に使用できるものである。そこで、1993年のペルセウス座流星群の出現の際、これらの観測に使用されている機器を利用してMUレーダー電波 (46.5MHz) 及びFM放送 (主にFM東京) 電波の流星エコーの観測を試みた。この論文では、観測の概要と予備的な解析結果について報告する。

2. 観測

8月8日より開始したテスト観測により、流星からのエコーの数が増加傾向にあることが確認できた。8月12日から13日にかけて重点的な観測を行った後、8月18日まで観測は続けられたが、ここで述べるのは、重点的な観測の行われた8月12日から13日の期間の観測方法及び観測結果についてである。表1に観測に使用した受信機、受信モード、及び記録方式を受信周波数毎に示す。また、観測方法を図1に示す。観測には滋賀県信楽町にあるMUレーダーからの電波 (46.5MHz)、及びFM東京 (80.0MHz) の電波を利用した。西はりま天文台、信楽MUレーダー、FM東京の位置関係を図2に示す。西はりま天文台と信楽の間の距離は約160km、西はりま天文台とFM東京の間の距離は約480kmである。FM東京からの電波の受信には、市販のFM帯用の5素子八木アンテナを使用した。MUレーダー電波の受信には既存の50MHz用5素子八木アンテナを流用したが、50MHzで受信する場合に比べてアンテナの効率はかなり落ちたものと考えられる。

Table 1. Antenna, receiver, receiving mode and recorder

Observing Frequency	Antenna	Receiver	Receiving mode	Recorder
46.5 MHz	5 element Yagi (50MHz)	NRD-525(Nippon Musen) Band width=12kHz	AM	Pen Recorder (1cm/min) DAT
80.025MHz	5 element Yagi	IC-R7000(ICOM) Band width=5kHz	AM	Pen Recorder (1cm/min) DAT
21.87MHz	Conical Spiral	NRD-525(Nippon Musen) Band width=12kHz	AM	Pen Recorder (1cm/min)

FM東京の場合、受信周波数を80.000MHzに合わせたところ、大阪のFM局 (80.2MHz)

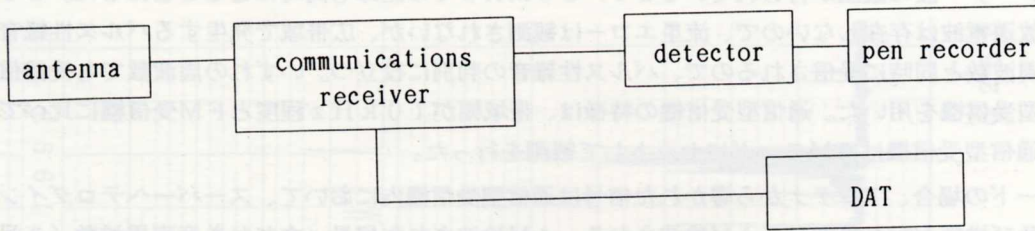


Fig. 1. Observation system.

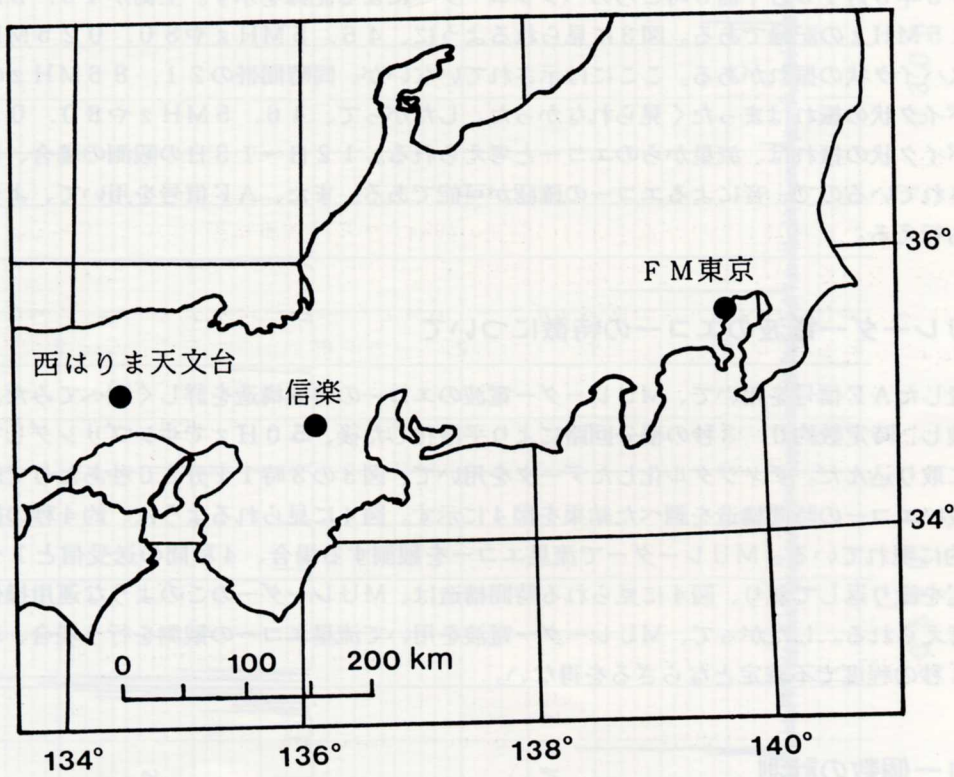


Fig. 2. The positions of Nishi-Harima Astronomical Observatory, MU Radar, and FM TOKYO.

の混信が認められたので、混信を逃れるために周波数を少しずらして80.025MHzとした。また、通常は木星デカメーター波の観測が行われている21.86MHzでの記録も同時にとることとした。21.86MHzには放送電波は存在しないので、流星エコーは観測されないが、広帯域で発生するパルス性雑音の場合には他の2周波数と同時に受信されるので、パルス性雑音の判別に役立つ。いずれの周波数でも受信信号の増幅には通信型受信機を用いた。通信型受信機の特徴は、帯域幅が10kHz程度とFM受信機に比べて狭いことである。通信型受信機はAMモードにセットして観測を行った。

AMモードの場合、アンテナから導かれた信号は通信型受信機内において、スーパーヘテロダイン方式で周波数変換及び増幅が行われた後、AM検波される。AM検波された信号、すなわち音声周波数(AF)信号を取り出しダイオードで検波して直流とし、さらに平滑化した直流電圧の時間変化をペンレコーダにより記録した。また、より詳しい解析を行うために46.5MHzと80.025MHzのAF信号をデジタル・オーディオ・テープレコーダー(DAT)により録音した。

3. 解析及び結果

図3に1993年8月13日午前3時ごろのペンレコーダによる記録を示す。上側が46.5MHz、下側が80.025MHzの記録である。図3に見られるように、46.5MHzや80.025MHzでの記録には多数のスパイク状の振れがある。ここには示されていないが、同時間帯の21.86MHzの記録にはこのようなスパイク状の振れはまったく見られなかった。したがって、46.5MHzや80.025MHzに見られるスパイク状の振れは、流星からのエコーと考えられる。12日～13日の観測の場合、DATにAF信号が録音されているので、音によるエコーの確認が可能である。また、AF信号を用いて、より詳しい時間構造の解析も行える。

3-1. MUレーダー電波のエコーの特徴について

DATに録音したAF信号を用いて、MUレーダー電波のエコーの時間構造を詳しく調べてみた。再生したAF信号を検波し、時定数約0.3秒の積分回路により平滑化した後、50Hzでサンプリングしてデジタルレコーダに取り込んだ。デジタル化したデータを用いて、図3の3時11分30秒あたりで起こっている継続時間の長いエコーの時間構造を調べた結果を図4に示す。図4に見られるように、約4秒の継続時間のエコーが周期的に現れている。MUレーダーで流星エコーを観測する場合、4秒間の送受信と1～4秒程度のデータ処理を繰り返しており、図4に見られる時間構造は、MUレーダーのこのような運用操作を反映しているものと考えられる。したがって、MUレーダー電波を用いて流星エコーの観測を行う場合、エコーの出現時刻は1～4秒の程度で不確定とならざるを得ない。

3-2. エコー個数の計測

ペンレコーダの記録を基にして、DATにより音を確認をしながら流星エコーの計測を行った。MUレーダー電波の場合、プー、プッといった特徴的な音が聞こえるので、パルス性の雑音とは区別できる。FM東京の電波の場合には、はっきりとした音声を聞き取ることはできないが、ザーという背景雑音がガリガリ、ブツブツといったものになるのが確認できた。元々FM変調された電波をAMモードで受信したので、音声が鮮明に聞けないのは当然のことである。

確認したエコーの数は1時間毎に集計を行なってデータとした。図5に8月12日20時から翌13日にかけての46.5MHz及び80.025MHzでのエコー個数(1時間毎)の時間変化を示す。

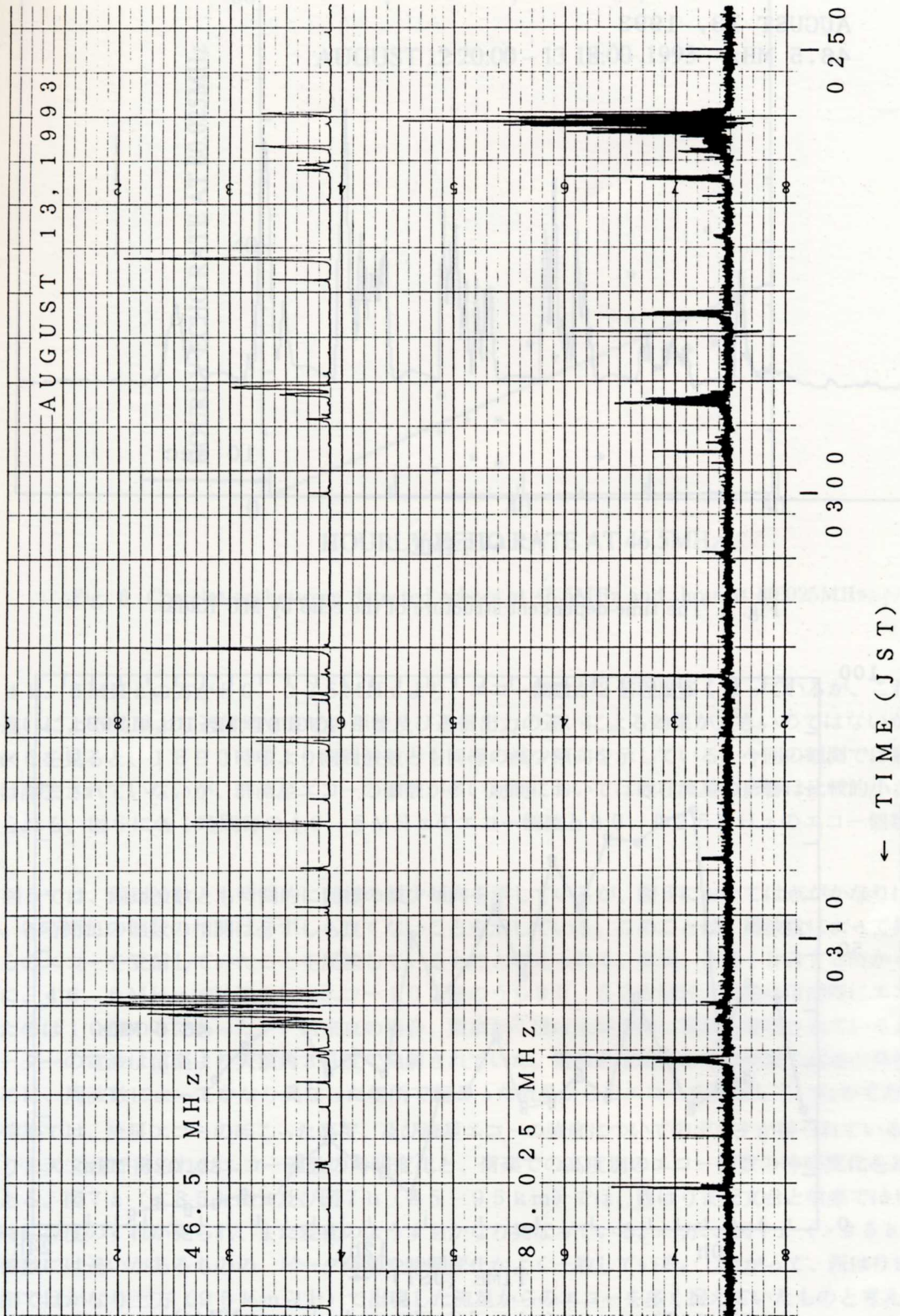


Fig. 3. An example of the recorded data by pen-recorders.

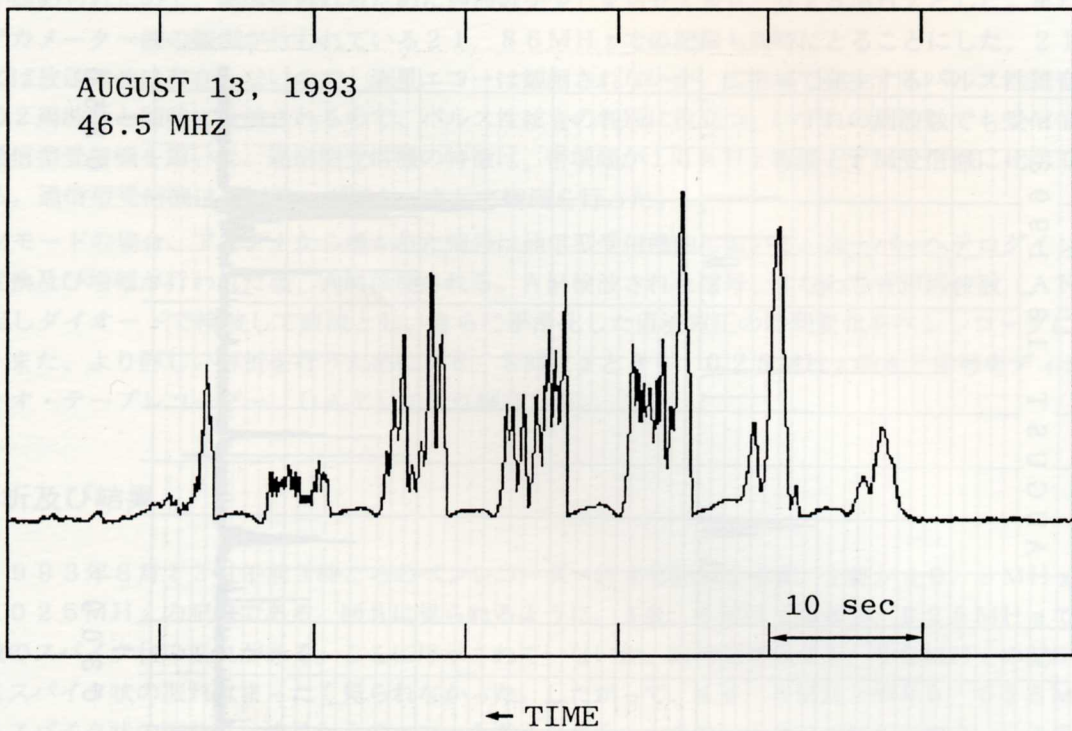


Fig. 4. The time-dependent structure of the echo by MU Radar.

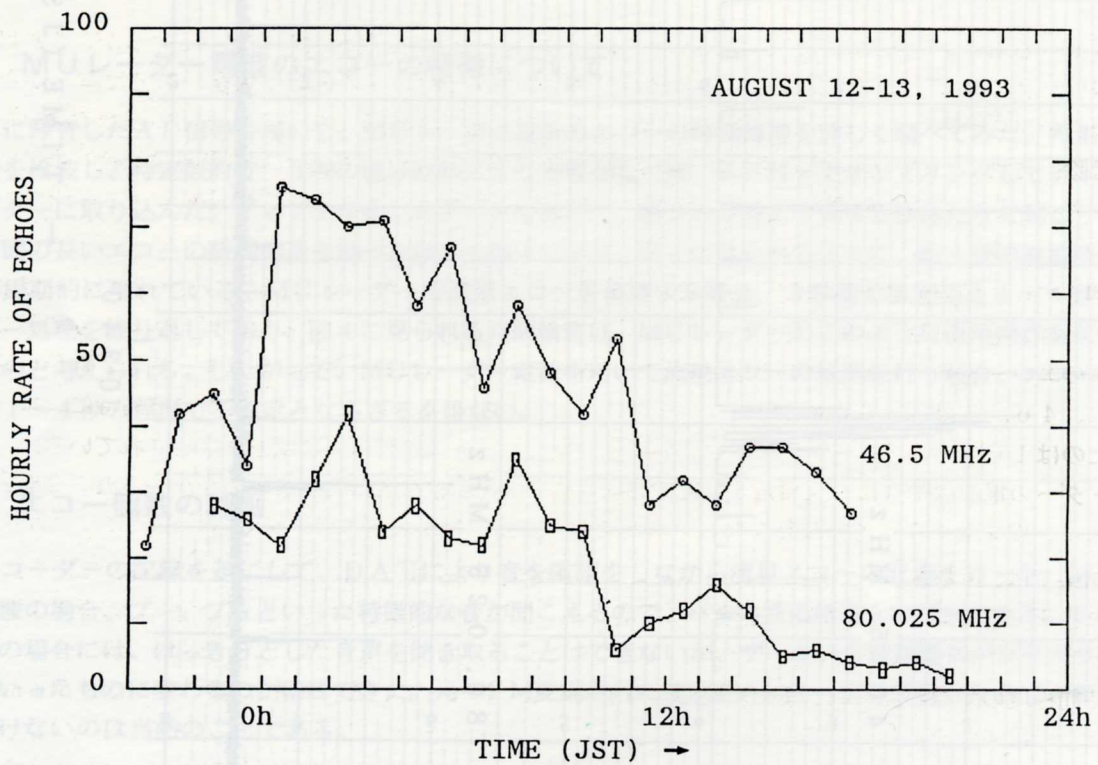


Fig. 5. The time variation of the detected echoes at NHAO.

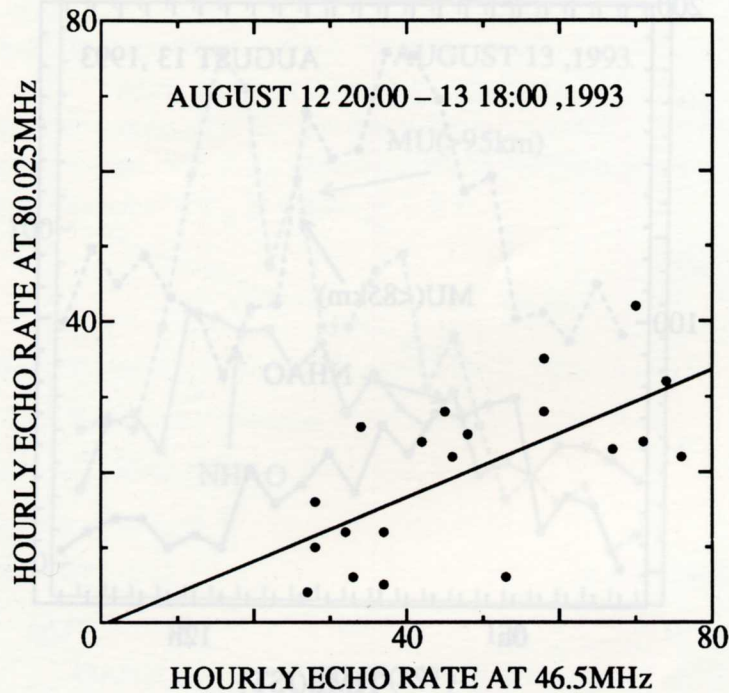


Fig. 6. Correlation between detected echoes at 46.5MHz and those at 80.025MHz.

46.5MHzの方が80.025MHzより、エコー個数が2倍程度多くなっているが、これは、周波数の違いによる効果より送信地点までの距離及び送信出力の違いによる効果が大いのではないかとと思われる。図5を見ると、13日0時頃より両周波数とも同様の減少傾向を示している。今回の観測では散在流星の影響は除去されていないが、群流星エコーの個数が多い期間においては散在流星の影響は比較的小さいものと考えられる。図6に各1時間毎の46.5MHzのエコー個数と80.025MHzのエコー個数の相関を示す。

図5では、両周波数とも時間的に同様の減少傾向を示しているが、図6においては点がかかなりばらついており、各時間毎の個数の相関は必ずしも良くないことを示している。このことは、周波数によって異なった流星からのエコーを受信していたことを反映しているものと考えられる。事実、8月12日23時から約2時間の間に、46.5MHzで計測されたエコー102個のうち80.025MHzでもほぼ同時にエコーが観測されたのは10個のみであった。FM東京の場合、東京からほぼ水平方向に電波が発射されている。一方、MUレーダーの電波は信楽より天頂角30度で発射されていた。電波送信地点までの距離や電波の発射方向が違うために、周波数によってかなり異なった場所で起こった流星からのエコーを受信していたのであろう。

信楽では、流星エコーの起こった高度、及び流星エコーの強度についてのデータが得られている。図7は、西はりま天文台で得られたエコー個数の時間変化と、信楽での高度別のエコー個数の時間変化を比較したものである。図7a (<85km)及び図7b (85-95km)では、西はりま天文台と信楽ではピーク時刻に4時間程度のずれが見られ、また変化のようすもかなり異なっている。一方、図7c (>95km)では、絶対個数には違いがあるものの、ピーク時刻や時間変化がよく一致している。したがって、西はりま天文台での観測ではかなり上方(95km以上)で出現した流星からのエコーを多く捉えていたものと考えられる。

図8は西はりま天文台で計測されたエコー個数と信楽での強度別のエコー個数(いずれも1時間値)との

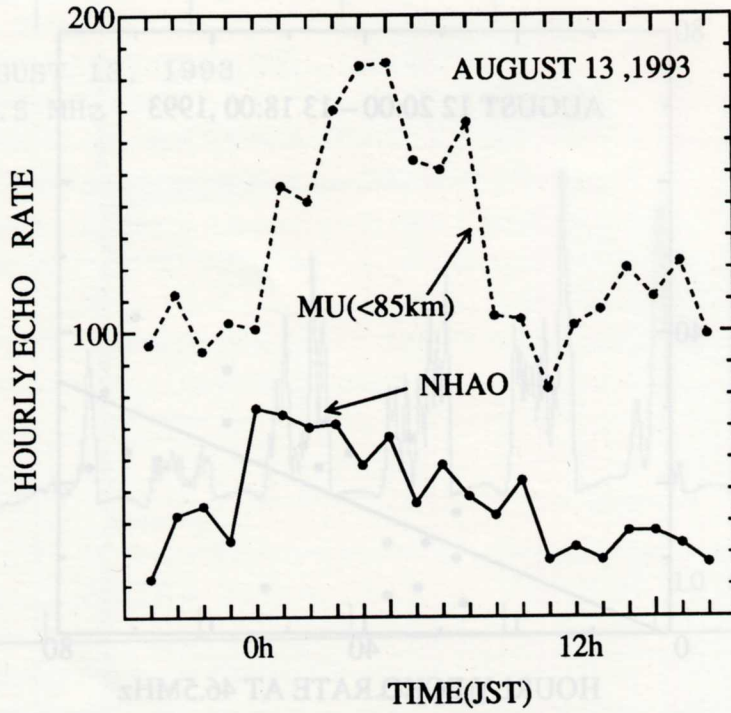


Fig. 7(a). Time variation of the detected echoes at MU Rader and that at NHAO.

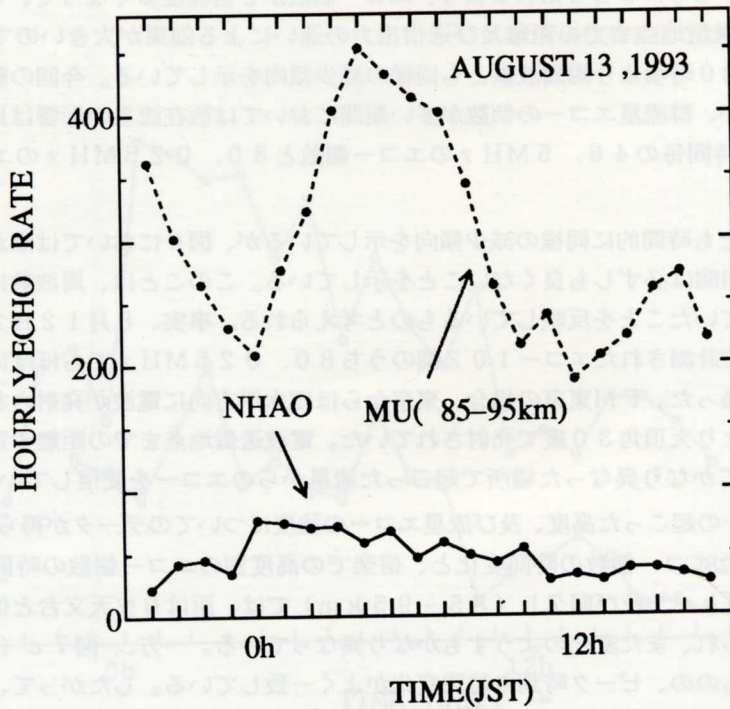


Fig. 7(b). Time variation of the detected echoes at MU Rader and that at NHAO(continued).

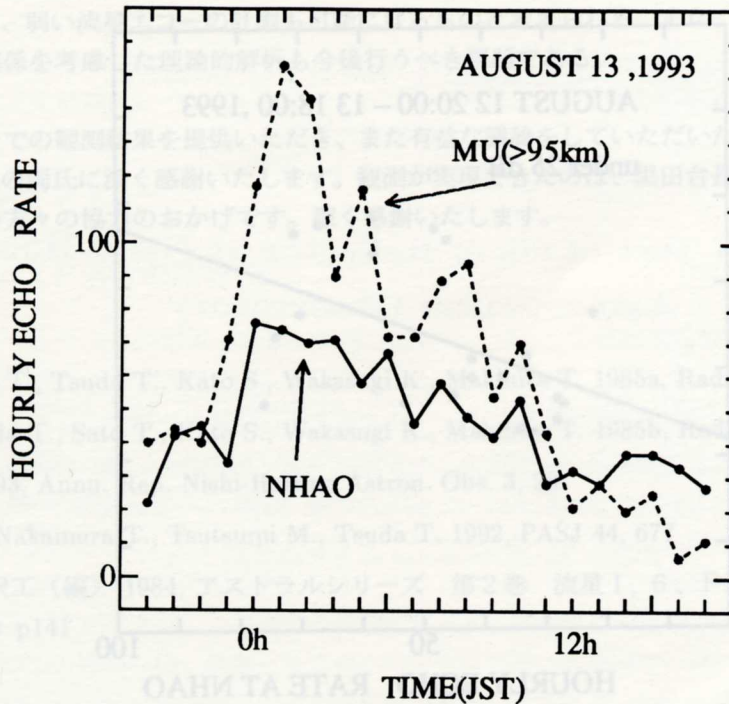


Fig. 7(c). Time variation of the detected echoes at MU Rader and that at NHAO(continued).

相関を示す。25 dB以下のエコーの場合には、相関があまり良くないが、25 dB以上の強度を持つエコーの場合には相関がよく、ほぼ直線的な関係となっている。ただし、dBはノイズレベルに対する比を表す。したがって、西はりま天文台では、主に比較的高い強度のエコーが受信されたものと考えられる。前で述べたが、今回は50 MHz用の八木アンテナを流用して46.5 MHzでの観測を行った。46.5 MHzではかなりアンテナの効率が悪くなっていたために、比較的高い強度のエコーのみが検出できたのであろう。以上より、西はりま天文台における46.5 MHzでの観測により計測された流星エコーは、高い高度で起こった強度の高い流星エコーであると考えられる。

4. 結論

西はりま天文台において、1993年のペルセウス座流星群の電波観測を行った。通信型受信機を用いた観測システムにより、MUレーダー(46.5 MHz)とFM東京(80.0 MHz)の電波を利用して、流星からのエコーの個数を計測した。他に、21.86 MHzでも観測を行い、大気中の放電などに起因するパルス性雑音の除去を行った。46.5 MHzと80.0 MHzでのエコー個数は同様の時間変化を示したが、各時間毎の個数の相関は必ずしも良くなかった。これは、送信局までの距離や電波の発射方向が異なっていたために、周波数によって異なる流星からのエコーを受信することが多かったのが原因と考えられる。

MUレーダーで高度別、あるいは強度別に計測された個数(1時間値)と西はりま天文台で計測された個数(1時間値)を比較したところ、西はりま天文台で観測されたエコーの個数は、信楽で捉えられたエコーの内、高い場所(>95 km)で起こったエコーの個数、及び強度の強いエコーの個数と相関が良いとの結論を得た。

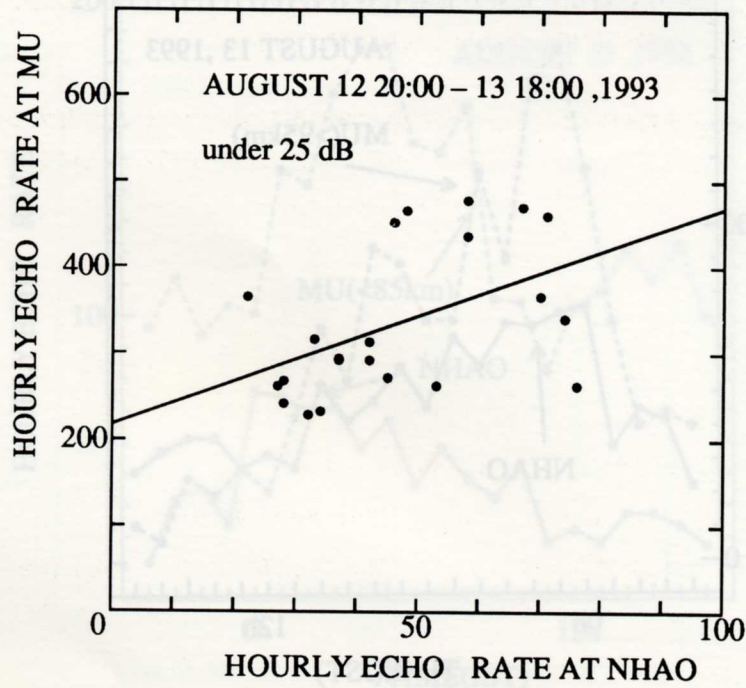


Fig. 8(a). Correlation between hourly echo rates at MU Rader and thoes at NHAO below 25 dB.

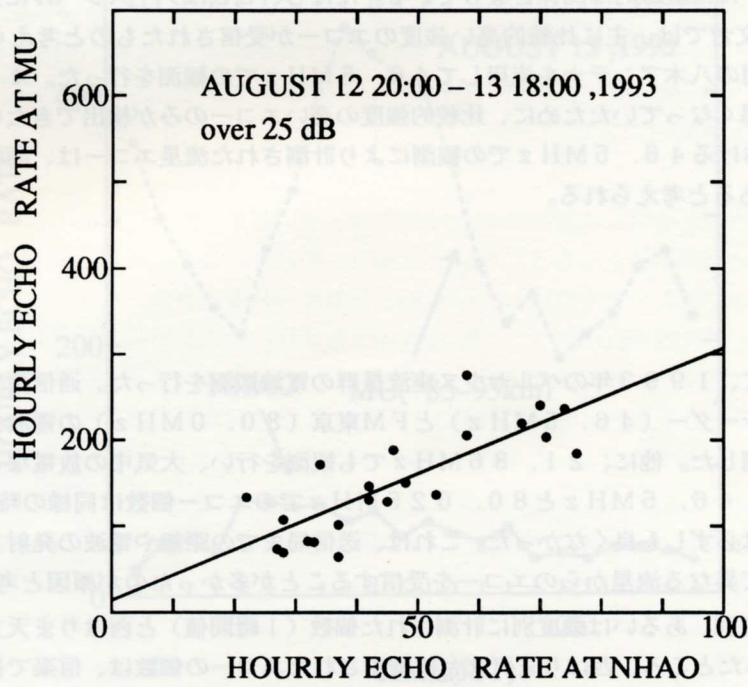


Fig. 8(b). Correlation between hourly echo rates at MU Rader and thoes at NHAO above 25 dB.

今回の西はりま天文台での観測は、既存の観測機材を用いたテスト的なものであった。今後、観測精度を上げることにより、弱い流星エコーの計測も可能になるものと考えられる。また、電波送信地点と西はりま天文台の幾何学的関係を考慮した理論的解析も今後行うべき課題である。

MUレーダーでの観測結果を提供いただき、また有益な議論をしていただいた京都大学超高層電波研究センターの中村、堤の両氏に深く感謝いたします。観測が実現できたのは、黒田台長をはじめとする西はりま天文台のスタッフの方々の協力のおかげです。深く感謝いたします。

《参考文献》

- Fukao S., Sato T., Tsuda T., Kato S., Wakasugi K., Makihira T. 1985a, Radio Sci. 20, 1155
Fukao S., Tsuda T., Sato T., Kato S., Wakasugi K., Makihira T. 1985b, Radio Sci. 20, 1169
前田耕一郎 1993, Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs. 3, 28
Watanabe J., Nakamura T., Tsutsumi M., Tsuda T. 1992, PASJ 44, 677
斉藤馨児、長沢工（編） 1984, アストラルシリーズ 第2巻 流星 I, 6、FM電波を利用した観測（恒星社厚生閣）p141